

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: MATSUKAWA et al. Examiner: Unknown
Serial No.: 10/693,283 Group Art Unit: Unknown
Filed: October 24, 2003 Docket No.: 10873.1179USW1
Title: MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND METHOD FOR
MANUFACTURING THE SAME

CERTIFICATE UNDER 37 CFR 1.8:

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail, with sufficient postage, in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on January 9, 2004.

By: 
Name: Jennifer Holden

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT(S)

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicants enclose herewith one certified copy of a Japanese application, Serial No. 2001-192217, filed June 26, 2001, the right of priority of which is claimed under 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

MERCHANT & GOULD P.C.
P.O. Box 2903
Minneapolis, MN 55402-0903
(612) 332-5300

Dated: January 9, 2004

By: 
Douglas P. Mueller
Reg. No. 30,300

DPM/jh

23552

PATENT TRADEMARK OFFICE

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2001年 6月26日
Date of Application:

出願番号 特願2001-192217
Application Number:

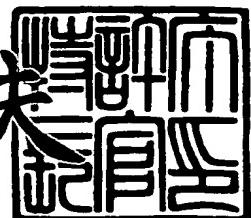
[ST. 10/C] : [JP2001-192217]

出願人 松下電器産業株式会社
Applicant(s):

2003年10月17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 2033830097
【提出日】 平成13年 6月26日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G11C 11/14
H01L 43/08
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
【氏名】 松川 望
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
【氏名】 小田川 明弘
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
【氏名】 杉田 康成
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
【氏名】 里見 三男
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
【氏名】 川島 良男

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 平本 雅祥

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097445

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938



【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気抵抗素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも第一の強磁性体F1、第二の強磁性体F2、前記F1と前記F2との間に配された非磁性体N1を有し、前記F1と前記F2の、前記N1との界面での磁化方向の、相対角度の違いにより抵抗値が異なる磁気抵抗素子であり、300°C以上の熱処理工程を有し、前記300°C以上の熱処理工程後に、前記強磁性体F1、F2と前記非磁性体N1との界面荒さをR1としたときに $R1 \leq 20\text{ nm}$ である磁気抵抗素子。

【請求項2】 少なくとも第一の強磁性体F1と第二の強磁性体F2と前記F1と前記F2の間に非磁性体N1を有し、前記F1と前記F2の、前記N1との界面での磁化方向の、相対角度の違いにより抵抗値が異なる磁気抵抗素子であり、300°C以上の熱処理工程を有し、前記300°C以上の熱処理工程後に、前記強磁性体F1、F2の内、少なくとも一部が前記N1との界面において($\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{Ni}_z$) aX_b なる強磁性材料で構成されている磁気抵抗素子(ただし、XはTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auから選ばれる少なくとも一つの元素。x、y、z、a、bは原子組成比。 $x + y + z = 100$ 、 $a + b = 100$ 、 $40 \leq a \leq 99.7$ 、 $0.3 \leq b \leq 60$)。

【請求項3】 少なくとも第一の強磁性体F1と第二の強磁性体F2と前記F1と前記F2の間に非磁性体N1を有し、前記F1と前記F2の、前記N1との界面での磁化方向の、相対角度の違いにより抵抗値が異なる磁気抵抗素子であり、300°C以上の熱処理工程を有し、前記300°C以上の熱処理工程後に、前記強磁性体F1、F2の内、少なくとも一部が前記N1との界面において($\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{Ni}_z$) aX_bY_c なる強磁性材料で構成されている磁気抵抗素子(ただし、XはTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auから選ばれる少なくとも一つの元素。YはMn、Crから選ばれる少なくとも一つの元素。x、y、z、a、b、cは原子組成比。 $x + y + z = 100$ 、 $a + b + c = 100$ 、 $40 \leq a \leq 99.7$ 、 $0.3 \leq b + c \leq 60$ 、 $0.3 \leq b \leq 60$ 、 $0 \leq c \leq 20$)。

【請求項 4】 少なくとも第一の強磁性体F 1と第二の強磁性体F 2と前記F 1と前記F 2の間に非磁性体N 1を有し、前記F 1と前記F 2の、前記N 1との界面での磁化方向の、相対角度の違いにより抵抗値が異なる磁気抵抗素子であり、300°C以上の熱処理工程を有し、前記300°C以上の熱処理工程後に、前記強磁性体F 1、F 2の内、少なくとも一部が前記N 1との界面において ($\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{Ni}_z$)_aX_bY_cZ_dA_eなる強磁性材料で構成されている磁気抵抗素子（ただし、XはTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auから選ばれる少なくとも一つの元素。YはMn、Crから選ばれる少なくとも一つの元素。ZはTi、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Al、Si、Ga、Ge、In、Snから選ばれる少なくとも一つの元素。AはB、C、N、O、P、Sから選ばれる少なくとも一つの元素。x、y、z、a、b、c、d、eは原子組成比。 $x + y + z = 100$ 、 $a + b + c + d + e = 100$ 、 $40 \leq a \leq 99.7$ 、 $0.3 \leq b + c + d + e \leq 60$ 、 $0.3 \leq b \leq 60$ 、 $0 \leq c \leq 20$ 、 $0 \leq d \leq 30$ 、 $0 \leq e \leq 20$ ）。

【請求項 5】 前記強磁性体F 1、F 2の内、少なくとも一部が前記N 1との界面において構成している前記合金が、300°C以上の熱処理工程で用いる熱処理温度において、单一の相状態を有する合金である請求項2～4のいずれかに記載の磁気抵抗素子。

【請求項 6】 前記強磁性体F 1、F 2の内少なくとも一部が、直接もしくは、非磁性体と第3の強磁性体を介して、反強磁性体と接しており、かつ前記反強磁性体と前記F 1と前記F 2のうち少なくとも一部が接している界面と、前記F 1と前記F 2がN 1と接している界面との距離が、3nm以上50nm以下である請求項1～5のいずれかに記載の磁気抵抗素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、HDDなどの磁気記録に用いられる磁気ヘッドや、磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）に用いる磁気抵抗素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

強磁性体／非磁性体／強磁性体を基本構成とする多層膜に中間の非磁性体を横切るように電流を流した場合、非磁性体がトンネル絶縁層であるときスピントンネル効果、また非磁性体がCuなどの導電性金属であるときCPP (Current perpendicular to the plane) GMR効果による磁気抵抗効果が生じることが知られている。何れの磁気抵抗効果も、中間の非磁性体を挟む磁性体間の磁化相対角の大きさに依存し、前者では、両磁性体間に流れるトンネル電子の遷移確率が相対角に応じて変化すること、また後者では、スピン依存散乱が変化することにより生じると説明されている。

【0003】

この強磁性トンネル接合やCPPGMRを磁気記憶素子として用いる場合、複数の強磁性体のうちの一部を記憶層とし、メモリの書き込みは、記憶層とした強磁性体の磁化方向を変化させることで、メモリの読み出しがその結果生じる抵抗変化を検出することで行う。

【0004】

具体的には、強磁性体の一部に、保磁力の高い「硬」磁性材料を用いるか、強磁性層－反強磁性層の積層構造にした、いわゆる「ピン」された磁性材料を用い、外部の磁場に対して磁化方向が変化しにくい状態にしておく。一方で、非磁性体を介して積層されている磁性層に、前述した磁性材料に比べて、弱い磁場で磁化方向が変化する「軟らかい」磁性材料を用い、何らかの方法で（一般的には直近に導体を配置して、その導体に電流を流すことにより発生する磁場を用いる。）「軟らかい」磁性層のみの磁化方向を変化させて書き込む。

【0005】

磁気抵抗素子をデバイス化する、特にMRAMなどに用いる場合には、従来のSi半導体とモノリシック化する事はコスト、集積度などの点から必要不可欠である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、Si半導体では配線欠陥を取り除くための400℃～450℃での水

素中熱処理などの高温熱処理があるが、一般の磁気抵抗素子は、耐熱性の高いものでも300°C～350°C以上の熱処理を行うと磁気抵抗特性が劣化する（The 8th Joint MMM-Intermag Conference；AD-13 Freitas et al. 日本応用磁気学会誌、vol 25、No 4-2、p 779 (2001) 天野 et al. 日本応用磁気学会第116回研究会資料 p 16 等）。

【0007】

そのため、半導体素子形成後に磁気抵抗素子を作り込む（日本応用磁気学会第112回研究会資料 p 41）事などが提案されているが、その場合にも磁気抵抗素子、磁気抵抗素子と半導体素子、磁気抵抗素子に対して磁界を加えるための配線などを、磁気抵抗素子作成後に形成しなくてはならず、欠陥除去の熱処理無しには配線抵抗ばらつきが生じ、素子の信頼性、安定性を劣化させてしまう。

【0008】

本発明は上記従来の問題を鑑みて、300°C以上、特に350°C以上の熱処理後に優れた磁気抵抗特性を示す磁気抵抗素子を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

以上の目的を達成するために本発明の磁気抵抗素子は、少なくとも第一の強磁性体F1と第二の強磁性体F2と、F1とF2の間に非磁性体N1を有し、F1とF2の、N1との界面での磁化方向の相対角度の違いにより抵抗値が異なる磁気抵抗素子であり、かつ、300°C以上の熱処理工程を有し、300°C以上の熱処理工程後に、F1、F2とN1との界面荒さをR1としたときに $R1 \leq 20\text{ nm}$ である構成を有する。特に好ましくは、350°C以上の熱処理工程後に、 $R1 \leq 10\text{ nm}$ であると良い効果が得られる。

【0010】

前記目的を達成するために、本発明の他の構成では、少なくとも第一の強磁性体F1と第二の強磁性体F2とF1とF2の間に非磁性体N1を有し、F1とF2の、N1との界面での磁化方向の、相対角度の違いにより抵抗値が異なる磁気抵抗素子であり、300°C以上の熱処理工程を有し、300°C以上の熱処理工程

後に、F1、F2の内、少なくとも一部がN1との界面において $(Fe_xCo_yNi_z)_{aX_b}$ なる強磁性材料で構成されている構成を有している。ただし、XはTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auから選ばれる少なくとも一つの元素であり、x、y、z、a、bは原子組成比で、以下の式を満たす。 $x + y + z = 100$ 、 $a + b = 100$ 、 $40 \leq a \leq 99.7$ 、 $0.3 \leq b \leq 60$ 。

【0011】

この場合も、熱処理温度が350°C以上の場合に特によい効果が得られる。

【0012】

前記目的を達成するために、本発明の他の構成では、少なくとも第一の強磁性体F1と第二の強磁性体F2とF1とF2の間に非磁性体N1を有し、F1とF2の、N1との界面での磁化方向の、相対角度の違いにより抵抗値が異なる磁気抵抗素子であり、300°C以上の熱処理工程を有し、300°C以上の熱処理工程後に、F1、F2の内、少なくとも一部がN1との界面において $(Fe_xCo_yNi_z)_{aX_bY_c}$ なる強磁性材料で構成されている構成を有している。ただし、XはTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auから選ばれる少なくとも一つの元素であり、YはMn、Crから選ばれる少なくとも一つの元素であり、x、y、z、a、b、cは原子組成比で、以下の式を満たす。 $x + y + z = 100$ 、 $a + b + c = 100$ 、 $40 \leq a \leq 99.7$ 、 $0.3 \leq b + c \leq 60$ 、 $0.3 \leq b \leq 60$ 、 $0 \leq c \leq 20$ 。

【0013】

この場合においても、熱処理温度が350°C以上の時に特によい効果が得られる。

【0014】

前記目的を達成するために、本発明の他の構成では、少なくとも第一の強磁性体F1と第二の強磁性体F2とF1とF2の間に非磁性体N1を有し、F1とF2の、N1との界面での磁化方向の、相対角度の違いにより抵抗値が異なる磁気抵抗素子であり、300°C以上の熱処理工程を有し、前記300°C以上の熱処理工程後に、F1、F2の内、少なくとも一部がN1との界面において $(Fe_xC$

$\circ_{yNiz} aX_bY_cZ_dA_e$ なる強磁性材料で構成されている構成を有している。ただし、XはTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auから選ばれる少なくとも一つの元素であり、YはMn、Crから選ばれる少なくとも一つの元素であり、ZはTi、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Al、Si、Ga、Ge、In、Snから選ばれる少なくとも一つの元素であり、AはB、C、N、O、P、Sから選ばれる少なくとも一つの元素であり、x、y、z、a、b、c、d、eは原子組成比で、以下の式を満たす。 $x + y + z = 100$ 、 $a + b + c + d + e = 100$ 、 $40 \leq a \leq 99.7$ 、 $0.3 \leq b + c + d + e \leq 60$ 、 $0.3 \leq b \leq 60$ 、 $0 \leq c \leq 20$ 、 $0 \leq d \leq 30$ 、 $0 \leq e \leq 20$ 。

【0015】

この場合においても、熱処理温度が350°C以上の時に特によい効果が得られる。

【0016】

本発明の以上の構成において、強磁性体F1、F2の内、少なくとも一部がN1との界面において構成している合金が、熱処理工程で用いる熱処理温度において、単一の相状態を有する合金であると、特に好ましい効果が得られる。

【0017】

本発明の以上の構成において、強磁性体F1、F2の内少なくとも一部が、直接もしくは、非磁性体と第3の強磁性体を介して、反強磁性体と接しており、かつ、反強磁性体とF1とF2のうち少なくとも一部が接している界面と、F1とF2がN1と接している界面との距離が、3nm以上50nm以下であると磁気抵抗特性の耐熱性に優れた磁気抵抗素子が得られる。

【0018】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について説明する。基板としては表面が絶縁された物、例えば、熱酸化処理されたSi基板や、石英基板、サファイア基板等を用いることが出来る。基板表面は平滑な方がよく、必要に応じてケモメカニカルポリッシングなどの平滑化処理を行ってもよい。また、MOSトランジスターなどの

スイッチ素子が作成された基板を用いることも出来る。その場合、スイッチ素子の上にいったん絶縁層を形成し、必要な部分にのみコンタクトホールを形成して用いる。

【0019】

成膜法としては、スパッタ法、MBE法、CVD、パルスレーザーデポジション法、イオンビームスパッタ法などの一般の薄膜作成法を用いることが出来る。微細加工法としては、公知の微細加工法、例えば、コンタクトマスクやステップを用いたフォトリソグラフィ法や、EBリソグラフィ法、FIB (Focused Ion Beam) 加工法を用いることが出来る。

【0020】

エッチング法としては、イオンミリングやRIE、ICPプラズマを用いた、イオンミリングや、RIEなどの公知のエッチング法を用いることが出来る。

【0021】

平滑化や、成膜したものの不要な部分を除去するには、公知のCMPや精密ラッピングを用いることが出来る。

【0022】

素子特性改善のための熱処理は、真空中、不活性ガス中、もしくは水素中の熱処理を、無磁界中、もしくは磁界中で行った。特にピン層の固定化のために磁場中熱処理が必要な構成の素子においては、まず、260℃～300℃、1～30kOeの磁場中熱処理を行った後に、再度熱処理を行った。この場合、無磁界中の熱処理でも良好な磁気特性を得ることが可能であったが、初期のピン熱処理と同じ方向の磁場中での熱処理を行う、もしくは無磁界中の熱処理後に再度、同方向への磁界中熱処理を行った方が、安定して良好な磁気特性曲線を得ることが出来た。

【0023】

従来の素子においては、300℃程度までの熱処理では、磁気抵抗特性は一定、もしくは改善し、300℃以上の熱処理で磁気抵抗特性は劣化、もしくは350℃程度まで磁気抵抗特性を維持した後、350℃以上の熱処理で磁気抵抗特性が劣化する。そのため、本発明の構成の効果は、300℃以上の熱処理から従来

例に対して有意差をもち、350°C以上で歴然たるものとなる。また、Si半導体プロセスを組み合わせる事を考慮すると、熱処理温度が400°C付近であると、Si半導体プロセスの400°C付近の熱処理に対して安定な素子を得ることが出来る。また、Si半導体プロセスにおける配線欠陥、配線間・配線-素子間の接触抵抗を低減するための400°C程度の熱処理と、本発明における磁気抵抗素子特性改善のための300°C以上の熱処理を同時にあってもよく、コスト等の点からも有効な手段である。

【0024】

本発明における非磁性体界面の荒さR1を評価するには、TEM（透過型電子線顕微鏡）による断面像や、非磁性体まで成膜をとめたモデル膜を真空中でその場熱処理し、そのまま真空中AFMを用い表面形状を測定することにより評価した。

【0025】

荒さR1の定義としては、長さ50nmの界面における最大偏差（その範囲の曲線の平均直線からの偏差の最大値）を、サンプルから任意に10カ所測定し、測定法による測定エラーの影響を除くために、10点中の最大と最小を1点ずつ例外とした8点の平均を、サンプルのR1とした。また、特に、 $R1 \leq 5\text{ nm}$ であると、磁気抵抗曲線まで含めた磁気抵抗特性が良好であった。

【0026】

同じ、界面での荒れであっても、荒さが急峻な場合と緩やかな場合では影響が異なる。そのため、あまり距離が長い範囲でR1を定義してしまうと緩やかな界面のうねりがR1に入ってしまうために、特性に関係のない荒さがR1に入ってしまう。その影響を考慮に入れると、荒さの定義としてはある範囲でのうねりの最小曲率半径の方が好ましく、50nm~100nmの範囲での最小曲率半径を10カ所決定し、同様にその内の8カ所の平均をそのサンプルの最小曲率半径とした時、最小曲率半径が2nmより大きいサンプルは熱処理後の特性が良好だった。特に最小曲率半径が30nmより大きいと熱処理後の磁気抵抗曲線まで含めた磁気抵抗特性が良好であった。しかし、現在のTEM断面像による評価では、TEMサンプルの厚みを制御するのは難しく、たまたま厚みが充分薄い

箇所では、曲率半径を決定できたが、それ以外の箇所では、厚み方向に重なった像が得られ、特に最小曲率半径が小さいサンプルでは最小曲率半径を決定できるほど明瞭な断面像は得られにくかった。最小曲率半径が決定でき、それが2 nmより大きい、もしくは30 nmより大きい範囲であれば熱処理後の磁気抵抗特性が良好、もしくは磁気抵抗曲線まで含めた磁気抵抗特性が良好であったが、それらのサンプルはそれぞれ本発明のR1が20 nm以下、もしくは5 nm以下のサンプルの範囲にそれぞれ基本的には入っていた。測定法が進歩し、断面がより明確に評価できるようになった場合には、上の二つの定義による熱処理後の磁気抵抗が良好な範囲は、一致するか、最小曲率半径によるものの方がより正確に、特性が良好な範囲を決定できる可能性がある。

【0027】

熱処理後にR1の小さな素子を作成するためには、組成を本発明で限定した範囲にする他に、単結晶基板上にエピさせた電極の表面を400°C以上の熱処理で歪み取りした後に低角度のイオンミリングやガスクラスターイオンビームで平坦化した後に素子を作成すると、熱処理後にR1の小さなサンプルを作成できることがあり、その場合の磁気特性は良好であった。単結晶基板を用いなくても、同様に電極からある程度の下部磁性層までを成膜後に400°C以上で熱処理し、平坦化処理を行った後、その上に非磁性層、もしくは再度薄く下部磁性層を作成した後に非磁性層を作成したサンプルにおいても、少ない確率ではあるが、熱処理後にR1の小さいサンプルを作成できることがあり、その場合熱処理後の磁気抵抗特性は良好であった。熱処理後の非磁性界面付近での組成を本発明の範囲にしたサンプルでは非常に高い確率で熱処理後のR1の小さなサンプルを作成でき、熱処理後の磁気抵抗特性が良好であった。

【0028】

熱処理後のR1が小さいサンプルにおいては、単に磁気抵抗特性を維持するのみならず、しばしば300°C以上の熱処理において、磁気抵抗特性が更に改善する傾向を示した。原因はまだ定かではないが、一つの可能性として、熱処理により非磁性層のバリアとしての特性が改善した可能性がある。バリア中の欠陥が少ない方が磁気抵抗特性は良好になりうる、またはバリアの高さが高い方が磁気抵

抗特性は良好になりうるためである。従来、バリア特性の改善による磁気抵抗特性向上効果は300°C程度で一定値に達していたが、本発明のR1の範囲にすれば、300°C以上で、300°C以下とは別の反応、機構による欠陥低減が起こっている可能性がある。他の可能性としては、非磁性体と強磁性体の界面での化学結合状態が変化した可能性がある。現在のところ、そのメカニズムは明らかではないが、磁気抵抗素子の磁気抵抗特性は非磁性体-強磁性体界面の結合状態に敏感である可能性が示唆されているためである。

【0029】

熱処理後の非磁性体界面付近での強磁性体の組成は、TEM（透過型電子線顕微鏡）での局所組成分析や、オージェ光電子分光や二次イオン質量分光のミリングをしながらの深さ方向分析、あるいは、バリア下部の磁性層に対しては、バリア面まで成膜を一時停止したモデル膜に熱処理を行い、その表面、もしくはバリアのみをミリングによって除去した表面の、オージェ光電子分光やXPS組成分析により評価した。

【0030】

非磁性体-強磁性体界面での組成を本発明範囲にすると、低いR1と300°C以上での磁気抵抗特性の改善が高い確率で得られた。一つの可能性として、Tc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Au等の貴金属元素は酸素などの元素に対して触媒効果を有するためにバリアを構成する非磁性体の結合状態の強化が起り易くなつたためではないかと思われる。しかし、60%以上加えると、かえって磁気抵抗特性は劣化した。あるいは、非磁性添加元素の量が増えることにより、強磁性体としての特性が劣化したためかと思われる。

【0031】

効果のバランスのためか、Tc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auらの元素の添加量が3%以上、30%以下の範囲で特に良い特性が得られた。

【0032】

固定層によく用いられるPtMnなどのMn系反強磁性体やCr系の反強磁性体においては、熱処理後にMnなどの酸化しやすく、かつ酸化物が磁性を有する

元素が拡散し、バリア界面付近で酸化物を形成するために特性を劣化させると言
われている。

【0033】

しかし、本発明においてはTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auと同時にMn、Crなどを加えても添加量が20%程度以下では磁気抵抗特性に従来例のような著しい劣化は示さなかった。特にTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auらの添加量より少ない添加量の場合には劣化を示さず、サンプルによっては熱処理後の磁気特性の向上効果を示した。Mn、Cr無しの場合に比べても向上する例もあった。厳密な意味でのMn、Cr添加による効果か、Mn、Cr無しの場合と同様の現象かは特性のばらつきの範囲を考慮に入れると分離するのは困難だが、Tc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Au等とMn、Cr等の同時添加により、さらなる熱処理後の磁気抵抗特性の向上が起こっている可能性がある結果が得られた。

【0034】

磁気抵抗素子をデバイスとして用いる場合、磁気抵抗特性以外にも、軟磁気特性、高周波特性などの通常の磁性体としての磁気特性も必要になる。そのため、磁気特性改善のためのTi、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Al、Si、Ga、Ge、In、Sn等や、B、C、N、O、P、S等をTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Au等と、あるいは更にMn、Cr等と同時に添加することによって磁気抵抗特性と、通常の磁気特性の両方を制御しバランスを取った磁気抵抗素子を作成することが可能になった。

【0035】

上記の組成分析法で、界面での組成を分析した後、その組成の合金を直接に通常の鋳造法で鋳込み、更に不活性ガス中350℃～450℃で24時間熱処理をし、半分に切断した後に断面を研磨し、更に表面をエッチングした後に、金属顕微鏡、電子顕微鏡で粒状態を観察し、前述の表面分析法や、EDXなどの組成分析法で組成分布等を評価したところ、均一な組成状態、粒分布が得られる組成の方が、長時間熱処理における、磁気抵抗特性の安定性に優っていた。不均一な組

(2) 成分布を示す組成においては、長時間熱処理により、磁気抵抗特性が劣化するサンプルの確率が高かった。バルクと薄膜では、界面の効果などもあり、相の安定状態は異なるが、不均一な相を示す組成を用いたサンプルでは、熱処理により界面に複数の相が析出し、一部で本発明の組成範囲を超える、あるいは、相と相の境界に由来する劣化が起こっている可能性がある。

【0036】

Tc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Au等の元素とMn、Cr等の元素を同時に添加して熱処理後に良好な磁気抵抗特性を得ようとする場合、PtMn、PdPtMn、IrMn、FeMn、NiMn、RhMnやCrMnPt、CrAl、CrRu等の反強磁性体を固定層に用いて、熱処理による反強磁性体からの拡散を利用する方法も可能であった。その場合、Mn、Crの添加量を本発明の組成範囲内に制御するためには、300°C～450°C程度の熱処理温度において、反強磁性体界面と、非磁性体バリア界面の距離は3nmから50nmの範囲であると、熱処理時間を調整して、拡散による添加量を本発明の組成範囲内に制御し、熱処理後に良好な磁気抵抗特性を得ることが可能であった。

【0037】

上に挙げた方法は一例であり必ずしも、本発明を以上の具体例に限定する物ではない。

【0038】

(実施の形態1)

単結晶MgO(100)基板上にPt1000ÅをMBEで蒸着し、そのまま真空中で400°C3時間熱処理した後、基板に対する入射角10～15°の低角度のイオンガンにより、表面クリーニングおよび平坦化処理を行った上に8nmのNiFeをRFマグネットロンスパッタ法で成膜した。続けて、AlをDCマグネットロンスパッタ法で成膜し、真空チャンバー内に純酸素を導入することによりAl_xO_yバリアを作成した。その上にFe₅₀C₀50を10nm成膜し、磁気抵抗素子とした。通常のフォトリソグラフィ法によるパターニングとイオンミリングエッチングにより、図1に模式図を示す評価用の磁気抵抗素子を作成した。上部

電極にはCuを、層間絶縁膜にはSiO₂を用いた。磁界を印加しながら直流四端子法により抵抗を測定することにより磁気抵抗特性を測定した。熱処理無し、260°C 1時間熱処理後、300°C 1時間熱処理後、350°C 1時間熱処理後、400°C 1時間熱処理後のサンプルのMR変化率とR1を表1にまとめる。

【0039】

【表1】

成膜後(総サンプル数100)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	12/13.5	11.9/13.2	10.5/12.8	8.2/-
サンプル数	80	12	6	1

260°C1時間熱処理後(総サンプル数100)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	14.1/15.2	13.8/14.8	12.5/13.2	8.5/9.2
サンプル数	82	12	3	3

300°C1時間熱処理後(総サンプル数98)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	15.8/16.0	15.5/15.9	14.5/14.9	2.1/7.9
サンプル数	62	15	9	12

350°C1時間熱処理後(総サンプル数90)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	16.2/16.4	15.7/16.0	14.5/14.9	1.9/5.2
サンプル数	17	14	26	33

400°C1時間熱処理後(総サンプル数75)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	16.4/16.6	15.9/16.1	14.5/14.9	1.8/2.3
サンプル数	3	6	15	51

【0040】

また、図2に本発明におけるR1、曲率半径の定義の説明の図を示す。

【0041】

基板をSi熱酸化処理基板にし、下地電極にCuをRFマグнетロンスパッタ

で1000Å、Taを50Å成膜した後に同様の熱処理と平坦化処理を行ったものを用い、8nmのNiFeと2nmのCo₇₅Fe₂₅をDC/RFマグネットロンスパッタにより成膜し、非磁性体としてBNを反応性蒸着で成膜した後、Fe50Co50を5nm成膜したサンプルにおける、同様の評価の結果を表2に示す。

【0042】

【表2】

成膜後(総サンプル数100)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	18.1/20.0	17.9/19.5	15.5/17.8	10.2/13.2
サンプル数	67	22	7	4

260°C1時間熱処理後(総サンプル数100)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	18.2/20.1	18.0/19.7	16.5/17.9	12.1/13.5
サンプル数	69	21	5	5

300°C1時間熱処理後(総サンプル数96)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	19.5/20.3	19.1/19.9	17.5/18.8	11.8/13.5
サンプル数	36	36	9	15

350°C1時間熱処理後(総サンプル数88)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	19.7/20.5	19.2/20.0	17.5/18.8	5.8/11.8
サンプル数	15	16	21	36

400°C1時間熱処理後(総サンプル数74)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	19.9/20.6	19.2/20.0	16.8/18.5	2.8/5.6
サンプル数	1	8	13	52

【0043】

基板をSi熱酸化処理基板、下地電極にCuをRFマグネットロンスパッタで2000Å、TiNを30Å成膜し、そのまま8nmのNiFeと2nmのCo₇₅Fe₂₅をDC/RFマグネットロンスパッタにより成膜し、非磁性体としてAlを

成膜後にプラズマ酸化したものを用い、その上にFe₅₀Co₅₀を5nm成膜したサンプルにおける、同様の評価の結果を表3に示す。

【0044】

【表3】

成膜後(総サンプル数100)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	22.1/24.2	21.5/24.1	20.1/22.8	15.5/17.9
サンプル数	66	23	6	5

260°C1時間熱処理後(総サンプル数100)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	23.1/24.5	22.8/24.3	21.8/23.0	16.0/17.2
サンプル数	67	20	6	7

300°C1時間熱処理後(総サンプル数94)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	24.1/24.7	23.5/24.3	22.0/22.8	12.5/15.1
サンプル数	31	34	11	18

350°C1時間熱処理後(総サンプル数82)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	24.3/24.7	23.8/24.1	21.8/22.2	3.2/8.1
サンプル数	3	7	14	58

400°C1時間熱処理後(総サンプル数66)

R1(nm)	R1≤3	3<R1≤10	10<R1≤20	20<R1
MR(%) 平均／最大	-	23.8/23.9	21.6/21.6	2.6/3.6
サンプル数	0	2	3	61

【0045】

以上に示したように熱処理後のR1を小さくすることによりMR変化率の向上が見られた。なお、強磁性体としてCo₇₀Fe₃₀、Co₉₀Fe₁₀、Ni₆₀Fe₄₀、センダスト、Fe₅₀Co₂₅Ni₂₅、Co₇₀Fe₅Si₁₅B₁₀等を、そのままあるいは多層化して用いても、非磁性体として反応性蒸着によるAl₂O₃、AlN、 plasma反応による、AlN、自然酸化、窒化によるTaO、TaN、AlN

等を用いても基本的に同様の結果が得られた。また、断面模式図を図3に示す構造の磁気抵抗素子においても基本的に同様のR1と熱処理後のMR変化率の結果が得られた。その場合、非磁性体によるトンネルジャンクションが複数あるもののR1は複数の内の最大のものをその磁気抵抗素子のR1として評価した。また、反強磁性体としてはCrMnPt(20~30nm)、Tb₂₅Co₇₅(10~20nm)、PtMn(20~30nm)、IrMn(10~30nm)、PdPtMn(15~30nm)などを、非磁性金属としてはRu(0.7~0.9nm)、Ir(0.3~0.5nm)、Rh(0.4~0.9nm)などを用いた。

【0046】

(実施の形態2)

成膜法及び加工法は実施例1と基本的に同様の方法で素子を作成した。オージュ光電子分光及び、SIMS、XPSにより膜の組成を分析した。作成した素子の基本構成および表4~8にまとめた組成の位置を図4に示す。非磁性体としては、A1を成膜後に純酸素と高純度Arの混合ガスをチャンバー内に導入する酸化法によるAl₂O₃(1.0~2nm)を用いた。非磁性金属としては、Ru(0.7~0.9nm)を用いた。反強磁性体としては、PdPtMn(15~30nm)を用いた。図4に示した素子のタイプ、熱処理温度、強磁性体の非磁性体界面付近の組成、強磁性体層中間付近の組成、非磁性体界面と反対の界面付近での組成(at%)、MR変化率を表4a~表8dにまとめる。

【0047】

【表4】

【0048】

【表5】

[0049]

【表 6】

【0 0 5 0】

【表7】

【0 0 5 1】

表4 a) のサンプル1～8を比較すると、0.3 at%以上6.0 at%以下のPt添加により300°C以上の熱処理後の磁気抵抗特性は、Pt無しのサンプル

と比較して、向上しているのがわかる。特に3～30at%程度の添加においては、300℃以上の熱処理によって磁気抵抗特性が向上する傾向が得られた。これは表4a)のCo75Fe25をCo90Fe10、Co50Fe50、Ni60Fe40、Fe50Co25Ni25に置き換えるても同様の傾向の結果が得られた。また、Ni80Fe20をセンダストやCo90Fe10に置き換えても同様の傾向の結果が得られた。また、PtをRe、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Auに置き換えるても同様の傾向の結果が得られた。

【0052】

表4b)のサンプル9～16を比較するとPtとPdを2:1の比率で合計0.3at%以上60at%以下添加することにより300℃以上の熱処理後の磁気抵抗特性が、添加無しのサンプルと比較して向上しているのがわかる。特に3～30at%の範囲では300℃以上の熱処理により磁気抵抗特性が更に向上する効果が得られた。なお添加する元素の比を2:1から10:1、6:1、3:1、1:1、1:2、1:3、1:6、1:10に変えて同様の傾向が得られた。また、(Pt、Pd)のPtをTc、Re、Ru、Rh、Cu、Agに、PdをOs、Ir、Auに変えた(Pt、Pd)も入れて28通りの組み合わせにおいても同様の傾向の結果が得られた。また、Ni60Fe40をCo75Fe25、Fe50Co25Ni25に、Ni80Fe20をセンダストやCo90Fe10に置き換えるても同様の傾向の結果が得られた。

【0053】

表4c)のサンプル17と18～24を比較すると、Ir、Pd、Rhを2:1:1の比率で添加したとき、表4a)、4b)と同様な磁気抵抗特性の向上が見られた。なおこの傾向は、Irを1としたとき、Pd、Rhそれぞれを0.01～100の範囲で比を変化させたときにも同様に見られた。また、Co90Fe10をNi80Fe20、Ni65Fe25Co10、Co60Fe20Ni20等に、Co75Fe25を、Co50Fe50、Fe60Ni40、Fe50Ni50等に変えて同様の効果が得られた。また、元素として、(Tc、Re、Ag)、(Ru、Os、Ir)、(Rh、Ir、Pt)、(Pd、Pt、C)、(Cu、Ag、Au)、(Re、Ru、Os)、(Ru、Rh、Pd)、

(I r、P t、C u)、(R e、I r、A g)においても同様の傾向の効果が得られた。

【0054】

表4 d) のサンプル25と26～32を比較すると、表4 a～c) と同様の熱処理後の磁気抵抗特性の向上が見られている。熱処理後に反強磁性体からのMnの拡散が起こっている。P t 添加により拡散の度合いが抑制されている。間接的に、非磁性体界面へのMn等の添加効果の制御に用いることもできる事を示している。なお、P t をT c、R u、O s、R h、I r、P d、C u、A g に変えても同様の傾向の効果が得られた。また、強磁性体Ni80Fe20、Co75Fe25を表4 a～c) で用いた強磁性体に変えても同様の傾向の効果が得られた。

【0055】

【表 8】

【0056】

【表9】

【0057】

【表 1·0】

【0058】

【表 1 1】

【0059】

表 5 a) に R_e を界面付近に高濃度に添加したときの結果をまとめた。この場合も表 4) の時と同様に、熱処理後の磁気抵抗特性の向上、特に 3 ~ 29 at% の時に優れた向上効果が得られていることが見て取れる。強磁性体、非磁性体界

面に対する添加のみで効果が得られる事がわかる。一方、反強磁性体との界面付近には添加されていないため、Mnの拡散はあまり抑制されていない。反強磁性体と組み合わせたタイプではこのような拡散抑制効果を用いて、Mn、Crの添加の制御を界面に対する添加効果と組み合わせることにより、素子として、より有効な効果が得られることも明らかである。なお、ReをRu、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Au等に変えても同様の傾向の効果が得られた。また、強磁性体を表4)で用いたものと変えても同様の傾向の効果が得られた。

【0060】

表5 b)に非磁性体の両側に別の元素を添加したときの効果を示す。これまでと同様に熱処理後の磁気抵抗特性が向上する効果が得られていることがわかる。なお、表5 b)のRuをTc、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Ag、Auに、OsをTc、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Auに変えても同様の効果が得られた。また、強磁性体を表4で用いたものに変えても同様の結果が得られた。

【0061】

表5 c)に元素を非磁性体との界面の片側にのみ添加したときの結果を示す。基本的には同様の傾向が得られた。表の(Pt、Cu)をTc、Re、Rh、Ir、Pd、Pt、Ag、Auや、(Ru、Ir)、(Pt、Pd)、(Pt、Au)、(Ir、Rh)、(Ru、Pd)や、(Tc、Re、Ag)、(Ru、Os、Ir)、(Rh、Ir、Pt)、(Pd、Pt、Cu)、(Cu、Ag、Au)、(Re、Ru、Os)、(Ru、Rh、Pd)、(Ir、Pt、Cu)、(Re、Ir、Ag)に変えても同様の傾向が得られた。また強磁性体を表4)で用いたものに変えても同様の傾向の効果が得られた。

【0062】

表5 d)～表8 a)にMnとPtを添加したときの結果を示す。表5 d)はMn添加0at%、表6 a)～表8 a)にMnを0.2、0.5、1、2、5、8、12、19、22at%添加したときにPtの添加量を振った結果を示している。

【0063】

【表 1 2】

【0064】

【表 1 3】

【0065】

【表 1 4】

【0066】

【表 1 5】

[0067]

【表 1 6】

【0068】

【表 1 7】

【0069】

【表 1 8】

【0070】

【表 1 9】

[0071]

【表20】

【0072】

【表21】

[0073]

【表22】

【0074】

【表 2 3】

【0075】

Ptが少ない領域では、反強磁性体からのMnの拡散によるMnが界面にわずかに存在するが、Pt添加により制御されている。

【0076】

表9 a) に350°C熱処理後と400°C熱処理後の磁気抵抗特性をMn、Pt両方の添加量が0である、サンプル57の磁気抵抗変化率を1とした時の比でまとめたものを示す。また表9 b) に350°C熱処理後と400°C熱処理後の磁気抵抗特性を各Mn添加量におけるPt添加量0at%の時の磁気抵抗変化率を1としたときの比でまとめたものを示す。

【0077】

【表24】

		表9b)								
		Mn量	1	2	3	4	5	6	7	8
表 5d)	0	Pt量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
		Pt+Mn量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
	0.2	350°C	1	1.02	1.44	1.52	1.61	1.54	1.46	0.98
		400°C	1	1.02	1.92	1.99	2.45	2.21	1.95	1.05
表 6a)	0.2	Pt量	0	0.2	0.3	2.8	14.8	28.8	58.8	61.8
		Pt+Mn量	0.2	0.4	0.5	3	15	29	59	62
	0.2	350°C	1	1.03	1.56	1.78	1.81	1.68	1.51	0.99
		400°C	1	1.03	2.21	2.43	2.62	2.51	2.27	1.06
表 6b)	0.5	Pt量	0	0.2	0.3	2.5	14.5	28.5	58.5	61.5
		Pt+Mn量	0.5	0.7	0.8	3	15	29	59	62
	0.5	350°C	1	1.01	1.46	1.77	1.97	1.9	1.74	1
		400°C	1	1.01	1.98	2.42	2.73	2.71	2.5	1.06
表 6c)	1	Pt量	0	0.2	0.3	2	14	28	58	61
		Pt+Mn量	1	1.2	1.3	3	15	29	59	62
	1	350°C	1	1.01	1.45	1.76	2.07	1.96	1.84	1.04
		400°C	1	1.01	1.91	2.4	2.9	2.81	2.61	1.1
表 6d)	2	Pt量	0	0.2	0.3	2	13	27	57	60
		Pt+Mn量	2	2.2	2.3	4	15	29	59	62
	2	350°C	1	1.01	1.44	1.76	2.17	2.06	1.98	1.06
		400°C	1	1.01	1.9	2.39	3.13	2.98	2.81	1.12
表 7a)	5	Pt量	0	0.2	0.3	2	10	24	54	57
		Pt+Mn量	5	5.2	5.3	7	15	29	59	62
	5	350°C	1	1.01	1.43	1.7	2.16	1.98	1.86	1.05
		400°C	1	1.01	1.89	2.21	3.04	2.92	2.73	1.11
表 7b)	8	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	21	51	54
		Pt+Mn量	8	8.2	8.3	10	15	29	59	62
	8	350°C	1	1.01	1.39	1.6	1.8	1.69	1.59	1.02
		400°C	1	1.01	1.8	2.09	2.6	2.38	2.27	1.07
表 7c)	12	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	17	47	50
		Pt+Mn量	12	12.2	12.3	14	19	29	59	62
	12	350°C	1	1.01	1.38	1.51	1.6	1.58	1.47	1
		400°C	1	1.01	1.77	2	2.2	2.17	2	1.02
表 7d)	19	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	40	43
		Pt+Mn量	19	19.2	19.3	21	26	29	59	62
	19	350°C	1	1	1.36	1.41	1.52	1.44	1.33	0.94
		400°C	1	1	1.71	1.8	1.95	1.87	1.71	0.99
表 8a)	22	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	37	40
		Pt+Mn量	22	22.2	22.3	24	29	32	59	62
	22	350°C	1	0.99	1.1	1.11	1.13	1.1	1.01	0.86
		400°C	1	0.99	1.16	1.19	1.21	1.2	0.99	1.01

【0078】

【表25】

表9b)

Mn量	1	2	3	4	5	6	7	8
Pt量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
Pt+Mn量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
350°C	1	1.02	1.44	1.52	1.61	1.54	1.46	0.98
400°C	1	1.02	1.92	1.99	2.45	2.21	1.95	1.05
Pt量	0	0.2	0.3	2.8	14.8	28.8	58.8	61.8
Pt+Mn量	0.2	0.4	0.5	3	15	29	59	62
350°C	1	1.03	1.56	1.78	1.81	1.68	1.51	0.99
400°C	1	1.03	2.21	2.43	2.62	2.51	2.27	1.06
Pt量	0	0.2	0.3	2.5	14.5	28.5	58.5	61.5
Pt+Mn量	0.5	0.7	0.8	3	15	29	59	62
350°C	1	1.01	1.46	1.77	1.97	1.9	1.74	1
400°C	1	1.01	1.98	2.42	2.73	2.71	2.5	1.06
Pt量	0	0.2	0.3	2	14	28	58	61
Pt+Mn量	1	1.2	1.3	3	15	29	59	62
350°C	1	1.01	1.45	1.76	2.07	1.96	1.84	1.04
400°C	1	1.01	1.91	2.4	2.9	2.81	2.61	1.1
Pt量	0	0.2	0.3	2	13	27	57	60
Pt+Mn量	2	2.2	2.3	4	15	29	59	62
350°C	1	1.01	1.44	1.76	2.17	2.06	1.98	1.06
400°C	1	1.01	1.9	2.39	3.13	2.98	2.81	1.12
Pt量	0	0.2	0.3	2	10	24	54	57
Pt+Mn量	5	5.2	5.3	7	15	29	59	62
350°C	1	1.01	1.43	1.7	2.16	1.98	1.86	1.05
400°C	1	1.01	1.89	2.21	3.04	2.92	2.73	1.11
Pt量	0	0.2	0.3	2	7	21	51	54
Pt+Mn量	8	8.2	8.3	10	15	29	59	62
350°C	1	1.01	1.39	1.6	1.8	1.69	1.59	1.02
400°C	1	1.01	1.8	2.09	2.6	2.38	2.27	1.07
Pt量	0	0.2	0.3	2	7	17	47	50
Pt+Mn量	12	12.2	12.3	14	19	29	59	62
350°C	1	1.01	1.38	1.51	1.6	1.58	1.47	1
400°C	1	1.01	1.77	2	2.2	2.17	2	1.02
Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	40	43
Pt+Mn量	19	19.2	19.3	21	26	29	59	62
350°C	1	1	1.36	1.41	1.52	1.44	1.33	0.94
400°C	1	1	1.71	1.8	1.95	1.87	1.71	0.99
Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	37	40
Pt+Mn量	22	22.2	22.3	24	29	32	59	62
350°C	1	0.99	1.1	1.11	1.13	1.1	1.01	0.86
400°C	1	0.99	1.16	1.19	1.21	1.2	0.99	1.01

【0079】

Ptの添加量が0.3～60at%の時に、Mnが20at%以下の添加では熱処理後の磁気抵抗特性も良好である。特にMn < Ptの領域で良い特性が得られている。また、Mn 8～5at%以下の領域で、Mn < Ptでは、Mnとの同

時添加によって、P t 単独添加より特性が向上している可能性があるのがみてとれる。なお、M n の代わりにC r や (M n、C r) を1:0. 01～1:100 の比で添加したものでも同様の効果が得られた。また、P t の代わりに表4 a) ～表5 c) で用いた元素を添加しても同様の傾向の効果が得られた。また、強磁性体もF e 等の代わりに表4 で用いた強磁性体を用いても同様の結果が得られた。

【0080】

表8 b) ～d) に非磁性体によるバリアが複数あるものの界面に添加した場合の結果を示す。非磁性体が複数ある場合にも少なくとも一部の界面に元素が添加されることにより熱処理後の磁気抵抗特性が改善された。

【0081】

なお、表4 a) ～表9 b) においては、示した元素添加の組成の間の組成もおよそ2点～10点の間で確認し、添加組成の間隔が少なくとも2 a t %以下になるようにした実験をそれぞれの表、及びなお書きで示した組成の組み合わせの内、約1/3の組み合わせで確認し、特徴的な点をのみまとめている。間の組成においても同様な結果が得られていた。

【0082】

また、表4 a) ～表9 b) では400℃までの熱処理の結果を示したが、400℃～540℃までの範囲で10℃刻みで磁気抵抗特性を調べた結果では、添加元素が0. 3～60 a t %の範囲では450℃までは無添加のものに比べ優れた結果を示した。また、特に3～30 a t %の範囲では～500℃まで無添加のものに比べ優位な結果を示した。M n、C rとの同時添加においては、主添加元素が0. 3～60 a t %で、M n、C r<主添加元素の時は～450℃まで優れた磁気抵抗特性が得られ、主添加元素が3～30 a t %、M n、C r<8 a t %、M n、C r<主添加元素の時には～500℃まで無添加なものに比べ優位を示した。

【0083】

なお、以上の実施例においては、非磁性体に自然酸化によるA1Oを用いた結果を示したが、非磁性体を、プラズマ酸化によるA1O、イオンラジカル酸化に

によるAlO、反応性蒸着によるAlO、自然窒化によるAlN、プラズマ窒化によるAlN、反応性蒸着によるAlN、プラズマ窒化、反応性蒸着によるBN、熱酸化、プラズマ酸化、イオンラジカル酸化によるTaO、熱酸化、自然酸化、プラズマ酸化によるAlSiO、自然酸窒化、プラズマ酸窒化、反応性スパッタによるAlONにおいても同様の傾向の結果が得られた。

【0084】

また、反強磁性体としてPtMnの代わりに、FeMn、NiMn、IrMn、PtMn、RhMn、CrMnPt、CrAl、CrRu、CrRh、CrOs、CrIr、CrPt、TbCoを用いたときも同様の結果が得られた。

【0085】

また、非磁性金属としてRu(0.7~0.9nm)の代わりに、Rh(0.4~1.9nm)、Ir(0.3~1.4nm)、Cr(0.9~1.4nm)を用いたときも同様の結果が得られた。

【0086】

また、素子構造として、図4に示したもの以外に、図3に示したものにおいても、原則的に同様の効果が得られることも確認している。

【0087】

(実施の形態3)

成膜法及び加工法は実施例1、2と基本的に同様の方法で素子を作成した。オージェ光電子分光及び、SIMS、XPSにより膜の組成を分析した。非磁性体としては、Alを成膜後に純酸素と高純度窒素の1:1混合ガスをチャンバー内に導入する酸窒化法によるAlON(1.0~2nm)を用いた。非磁性金属としては、Rh(1.4~1.9nm)を用いた。反強磁性体としては、PtMn(20~30nm)を用いた。素子構造、及び強磁性体としては表5d)~表8a)に示したのと同様のものを作成し、Pt、Mnに加え、Ta、Nの添加効果を調べた。実施例2と同様に、540℃までの熱処理後の特性を調べたが、その内、特徴的な350℃と400℃をとりあげ、磁気特性として自由層の保磁力を、それぞれの界面の添加組成に対して、表10~22にまとめる。表中、保磁力を記載していないものは磁気特性を測定できなかった。軟磁気特性はTa、Nの

添加により向上しているのがわかる。しかし、非磁性添加物が約70at%以上のものでは磁気特性は測定できなかった。また、表10、11、12、15、16、19、20のサンプルでは熱処理後の磁気抵抗特性はTa、N添加無しのものと比べて±1割以内で同様の傾向を示したが、表13、17、21のサンプルでは1～2割磁気抵抗特性が劣化し、表14、18、22のサンプルでは5～6割磁気抵抗特性が劣化した。

【0088】

なお、Taの代わりにTi、Zr、Hf、V、Nb、Mo、W、Al、Si、Ga、Ge、In、Snを用いても同様の傾向の結果が得られた。また、Nの代わりにB、C、Oを用いても同様の傾向の結果が得られた。

【0089】

【表26】

表10(Ta=0, N=0)

Mn量		0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
Pt量 添加元素総量	0	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
	350°C	98	98	99	113	127	147	196	196
	400°C	88	88	89	101	115	132	176	176
0.5	Pt量 添加元素総量	0 0.5	0.2 0.7	0.3 0.8	2.5 3	14.5 15	28.5 29	58.5 59	61.5 62
	350°C	97	97	98	112	126	146	194	194
	400°C	87	87	88	100	114	131	175	175
1	Pt量 添加元素総量	0 1	0.2 1.2	0.3 1.3	2 3	14 15	28 29	58 59	61 62
	350°C	93	93	94	107	121	140	186	186
	400°C	84	84	85	96	109	126	168	168
5	Pt量 添加元素総量	0 5	0.2 5.2	0.3 5.3	2 7	10 15	24 29	54 59	57 62
	350°C	88	88	89	101	115	132	176	176
	400°C	79	79	80	91	103	119	159	159
8	Pt量 添加元素総量	0 8	0.2 8.2	0.3 8.3	2 10	7 15	21 29	51 59	54 62
	350°C	93	93	94	107	121	140	186	186
	400°C	84	84	85	96	109	126	168	168
19	Pt量 添加元素総量	0 19	0.2 19.2	0.3 19.3	2 21	7 26	10 29	40 59	43 62
	350°C	96	96	97	110	125	144	192	192
	400°C	86	86	87	99	112	130	173	173
22	Pt量 添加元素総量	0 22	0.2 22.2	0.3 22.3	2 24	7 29	10 32	37 59	40 62
	350°C	100	100	101	115	130	150	200	200
	400°C	90	90	91	103	117	135	180	180

【0090】

【表27】

表11(Ta=1, N=0)

Mn量									
Pt量 添加元素総量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62	
	1	1.2	1.3	4	16	30	60	63	
350°C	99	99	100	114	129	149	198	198	
	89	89	90	102	116	134	178	178	
400°C	89	89	90	102	116	134	178	178	
	88	88	89	101	115	132	176	176	
0.5	Pt量 添加元素総量	0 1.5	0.2 1.7	0.3 1.8	2.5 4	14.5 16	28.5 30	58.5 60	61.5 63
	350°C	98	98	99	113	127	147	196	196
1	350°C	94	94	95	108	122	141	188	188
	400°C	85	85	85	97	110	127	169	169
5	Pt量 添加元素総量	0 6	0.2 6.2	0.3 6.3	2 8	10 16	24 30	54 60	57 63
	350°C	89	89	90	102	116	134	178	178
8	400°C	80	80	81	92	104	120	160	160
8	Pt量 添加元素総量	0 9	0.2 9.2	0.3 9.3	2 11	7 16	21 30	51 60	54 63
	350°C	94	94	95	108	122	141	188	188
19	400°C	85	85	85	97	110	127	169	169
19	Pt量 添加元素総量	0 20	0.2 20.2	0.3 20.3	2 22	7 27	10 30	40 60	43 63
	350°C	97	97	98	112	126	146	194	194
22	400°C	87	87	88	100	114	131	175	175
22	Pt量 添加元素総量	0 23	0.2 23.2	0.3 23.3	2 25	7 30	10 33	37 60	40 63
	350°C	101	101	102	116	131	151	202	202
	400°C	91	91	92	105	118	136	182	182

【0091】

【表28】

表12(Ta=15、N=0)

Mn量	Pt量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
	添加元素総量	15	15.2	15.3	18	30	44	74	77
0	350°C	58	58	59	67	75	87	-	-
	400°C	52	52	53	60	68	78	-	-
0.5	Pt量	0	0.2	0.3	2.5	14.5	28.5	58.5	61.5
	添加元素総量	15.5	15.7	15.8	18	30	44	74	77
	350°C	57	57	58	66	75	86	-	-
	400°C	52	52	52	59	67	78	-	-
1	Pt量	0	0.2	0.3	2	14	28	58	61
	添加元素総量	16	16.2	16.3	18	30	44	74	77
	350°C	55	55	56	63	72	83	-	-
	400°C	50	50	50	57	64	74	-	-
5	Pt量	0	0.2	0.3	2	10	24	54	57
	添加元素総量	20	20.2	20.3	22	30	44	74	77
	350°C	52	52	53	60	68	78	-	-
	400°C	47	47	47	54	61	70	-	-
8	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	21	51	54
	添加元素総量	23	23.2	23.3	25	30	44	74	77
	350°C	55	55	56	63	72	83	-	-
	400°C	50	50	50	57	64	74	-	-
19	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	40	43
	添加元素総量	34	34.2	34.3	36	41	44	74	77
	350°C	57	57	57	65	74	85	-	-
	400°C	51	51	52	59	67	77	-	-
22	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	37	40
	添加元素総量	37	37.2	37.3	39	44	47	74	77
	350°C	59	59	60	68	77	89	-	-
	400°C	53	53	54	61	69	80	-	-

【0092】

【表29】

表13(Ta=29、N=0)

Mn量		0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
0	Pt量 添加元素総量	29	29.2	29.3	32	44	58	88	91
	350°C	22	22	22	25	29	33	—	—
	400°C	20	20	20	23	26	30	—	—
0.5	Pt量 添加元素総量	0 29.5	0.2 29.7	0.3 29.8	2.5 32	14.5 44	28.5 58	58.5 88	61.5 91
	350°C	22	22	22	25	28	33	—	—
	400°C	20	20	20	23	25	29	—	—
1	Pt量 添加元素総量	0 30	0.2 30.2	0.3 30.3	2 32	14 44	28 58	58 88	61 91
	350°C	21	21	21	24	27	31	—	—
	400°C	19	19	19	22	24	28	—	—
5	Pt量 添加元素総量	0 34	0.2 34.2	0.3 34.3	2 36	10 44	24 58	54 88	57 91
	350°C	20	20	20	23	26	30	—	—
	400°C	18	18	18	20	23	27	—	—
8	Pt量 添加元素総量	0 37	0.2 37.2	0.3 37.3	2 39	7 44	21 58	51 88	54 91
	350°C	21	21	21	24	27	31	—	—
	400°C	19	19	19	22	24	28	—	—
19	Pt量 添加元素総量	0 48	0.2 48.2	0.3 48.3	2 50	7 55	10 58	40 88	43 91
	350°C	22	22	22	25	28	32	—	—
	400°C	19	19	20	22	25	29	—	—
22	Pt量 添加元素総量	0 51	0.2 51.2	0.3 51.3	2 53	7 58	10 61	37 88	40 91
	350°C	22	22	23	26	29	34	—	—
	400°C	20	20	20	23	26	30	—	—

【0093】

【表30】

表14(Ta=31、N=0)

Mn量	Pt量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
	添加元素総量	31	31.2	31.3	34	46	60	90	93
0	350°C	18	18	18	21	23	27	-	-
	400°C	16	16	16	19	21	24	-	-
0.5	Pt量	0	0.2	0.3	2.5	14.5	28.5	58.5	61.5
	添加元素総量	31.5	31.7	31.8	34	46	60	90	93
0.5	350°C	18	18	18	20	23	27	-	-
	400°C	16	16	16	18	21	24	-	-
1	Pt量	0	0.2	0.3	2	14	28	58	61
	添加元素総量	32	32.2	32.3	34	46	60	90	93
1	350°C	17	17	17	20	22	26	-	-
	400°C	15	15	16	18	20	23	-	-
5	Pt量	0	0.2	0.3	2	10	24	54	57
	添加元素総量	36	36.2	36.3	38	46	60	90	93
5	350°C	16	16	16	19	21	24	-	-
	400°C	15	15	15	17	19	22	-	-
8	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	21	51	54
	添加元素総量	39	39.2	39.3	41	46	60	90	93
8	350°C	17	17	17	20	22	26	-	-
	400°C	15	15	16	18	20	23	-	-
19	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	40	43
	添加元素総量	50	50.2	50.3	52	57	60	90	93
19	350°C	18	18	18	20	23	26	-	-
	400°C	16	16	16	18	21	24	-	-
22	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	37	40
	添加元素総量	53	53.2	53.3	55	60	63	90	93
22	350°C	18	18	19	21	24	28	-	-
	400°C	17	17	17	19	21	25	-	-

【0094】

【表31】

表15(Ta=0, N=1)

Mn量	Pt量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
	添加元素総量	1	1.2	1.3	4	16	30	60	63
0	350°C	101	101	102	116	131	152	202	202
	400°C	91	91	92	105	118	136	182	182
0.5	Pt量	0	0.2	0.3	2.5	14.5	28.5	58.5	61.5
	添加元素総量	1.5	1.7	1.8	4	16	30	60	63
	350°C	100	100	101	115	130	150	200	200
	400°C	90	90	91	103	117	135	180	180
1	Pt量	0	0.2	0.3	2	14	28	58	61
	添加元素総量	2	2.2	2.3	4	16	30	60	63
	350°C	96	96	97	110	125	144	192	192
	400°C	86	86	87	99	112	130	173	173
5	Pt量	0	0.2	0.3	2	10	24	54	57
	添加元素総量	6	6.2	6.3	8	16	30	60	63
	350°C	91	91	92	105	118	136	182	182
	400°C	82	82	83	94	106	123	164	164
8	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	21	51	54
	添加元素総量	9	9.2	9.3	11	16	30	60	63
	350°C	96	96	97	110	125	144	192	192
	400°C	86	86	87	99	112	130	173	173
19	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	40	43
	添加元素総量	20	20.2	20.3	22	27	30	60	63
	350°C	99	99	100	114	129	148	198	198
	400°C	89	89	90	102	116	134	178	178
22	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	37	40
	添加元素総量	23	23.2	23.3	25	30	33	60	63
	350°C	103	103	104	118	134	155	206	206
	400°C	93	93	94	107	121	139	185	185

【0095】

【表32】

表16(Ta=0、N=10)

Mn量	Pt量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
	添加元素総量	10	10.2	10.3	13	25	39	69	72
0	350°C	62	62	63	71	81	93	-	-
	400°C	56	56	56	64	73	84	-	-
0.5	Pt量	0	0.2	0.3	2.5	14.5	28.5	58.5	61.5
	添加元素総量	10.5	10.7	10.8	13	25	39	69	72
0.5	350°C	61	61	62	71	80	92	-	-
	400°C	55	55	56	64	72	83	-	-
1	Pt量	0	0.2	0.3	2	14	28	58	61
	添加元素総量	11	11.2	11.3	13	25	39	69	72
1	350°C	59	59	59	68	77	88	-	-
	400°C	53	53	54	61	69	80	-	-
5	Pt量	0	0.2	0.3	2	10	24	54	57
	添加元素総量	15	15.2	15.3	17	25	39	69	72
5	350°C	56	56	56	64	73	84	-	-
	400°C	50	50	51	58	65	75	-	-
8	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	21	51	54
	添加元素総量	18	18.2	18.3	20	25	39	69	72
8	350°C	59	59	59	68	77	88	-	-
	400°C	53	53	54	61	69	80	-	-
19	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	40	43
	添加元素総量	29	29.2	29.3	31	36	39	69	72
19	350°C	61	61	61	70	79	91	-	-
	400°C	55	55	55	63	71	82	-	-
22	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	37	40
	添加元素総量	32	32.2	32.3	34	39	42	69	72
22	350°C	63	63	64	73	82	95	-	-
	400°C	57	57	57	65	74	85	-	-

【0096】

【表33】

表17(Ta=0、N=19)

Mn量		0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
	Pt量 添加元素総量	19	19.2	19.3	22	34	48	78	81
0	350°C	25	25	25	29	33	38	-	-
	400°C	23	23	23	26	29	34	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 19.5	0.2 19.7	0.3 19.8	2.5 22	14.5 34	28.5 48	58.5 78	61.5 81
0.5	350°C	25	25	25	28	32	37	-	-
	400°C	22	22	22	26	29	33	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 20	0.2 20.2	0.3 20.3	2 22	14 34	28 48	58 78	61 81
1	350°C	24	24	24	27	31	36	-	-
	400°C	21	21	22	25	28	32	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 24	0.2 24.2	0.3 24.3	2 26	10 34	24 48	54 78	57 81
5	350°C	23	23	23	26	29	34	-	-
	400°C	20	20	20	23	26	30	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 27	0.2 27.2	0.3 27.3	2 29	7 34	21 48	51 78	54 81
8	350°C	24	24	24	27	31	36	-	-
	400°C	21	21	22	25	28	32	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 38	0.2 38.2	0.3 38.3	2 40	7 45	10 48	40 78	43 81
19	350°C	25	25	25	28	32	37	-	-
	400°C	22	22	22	25	29	33	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 41	0.2 41.2	0.3 41.3	2 43	7 48	10 51	37 78	40 81
22	350°C	26	26	26	29	33	38	-	-
	400°C	23	23	23	26	30	34	-	-

【0097】

【表34】

表18(Ta=0、N=21)

Mn量		Pt量 添加元素総量	0 21	0.2 21.2	0.3 21.3	3 24	15 36	29 50	59 80	62 83
0	350°C	21	21	21	24	27	32	-	-	-
	400°C	19	19	19	22	25	28	-	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 21.5	0.2 21.7	0.3 21.8	2.5 24	14.5 36	28.5 50	58.5 80	61.5 83	
0.5	350°C	21	21	21	24	27	31	-	-	-
	400°C	19	19	19	22	24	28	-	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 22	0.2 22.2	0.3 22.3	2 24	14 36	28 50	58 80	61 83	
1	350°C	20	20	20	23	26	30	-	-	-
	400°C	18	18	18	21	23	27	-	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 26	0.2 26.2	0.3 26.3	2 28	10 36	24 50	54 80	57 83	
5	350°C	19	19	19	22	25	28	-	-	-
	400°C	17	17	17	20	22	26	-	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 29	0.2 29.2	0.3 29.3	2 31	7 36	21 50	51 80	54 83	
8	350°C	20	20	20	23	26	30	-	-	-
	400°C	18	18	18	21	23	27	-	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 40	0.2 40.2	0.3 40.3	2 42	7 47	10 50	40 80	43 83	
19	350°C	21	21	21	24	27	31	-	-	-
	400°C	19	19	19	21	24	28	-	-	-
	Pt量 添加元素総量	0 43	0.2 43.2	0.3 43.3	2 45	7 50	10 53	37 80	40 83	
22	350°C	21	21	22	25	28	32	-	-	-
	400°C	19	19	19	22	25	29	-	-	-

【0098】

【表35】

表19(Ta=3、N=2)

Mn量	Pt量 添加元素総量	0 5	0.2 5.2	0.3 5.3	3 8	15 20	29 34	59 64	62 67
0	350°C	79	79	80	91	103	119	158	158
	400°C	71	71	72	82	92	107	142	142
	Pt量 添加元素総量	0 5.5	0.2 5.7	0.3 5.8	2.5 8	14.5 20	28.5 34	58.5 64	61.5 67
	350°C	78	78	79	90	102	117	156	156
0.5	400°C	70	70	71	81	92	106	141	141
	Pt量 添加元素総量	0 6	0.2 6.2	0.3 6.3	2 8	14 20	28 34	58 64	61 67
	350°C	75	75	76	86	98	113	150	150
	400°C	68	68	68	78	88	101	135	135
1	Pt量 添加元素総量	0 10	0.2 10.2	0.3 10.3	2 12	10 20	24 34	54 64	57 67
	350°C	71	71	72	82	92	107	142	142
	400°C	64	64	65	74	83	96	128	128
	Pt量 添加元素総量	0 13	0.2 13.2	0.3 13.3	2 15	7 20	21 34	51 64	54 67
8	350°C	75	75	76	86	98	113	150	150
	400°C	68	68	68	78	88	101	135	135
	Pt量 添加元素総量	0 24	0.2 24.2	0.3 24.3	2 26	7 31	10 34	40 64	43 67
	350°C	77	77	78	89	101	116	155	155
19	400°C	70	70	70	80	91	105	139	139
	Pt量 添加元素総量	0 27	0.2 27.2	0.3 27.3	2 29	7 34	10 37	37 64	40 67
	350°C	81	81	81	93	105	121	161	161
	400°C	73	73	73	83	94	109	145	145
22									

【0099】

【表36】

表20(Ta=14、N=7)

Mn量	Pt量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
	添加元素総量	21	21.2	21.3	24	36	50	80	83
0	350°C	38	38	38	44	49	57	—	—
	400°C	34	34	35	39	44	51	—	—
0.5	Pt量	0	0.2	0.3	2.5	14.5	28.5	58.5	61.5
	添加元素総量	21.5	21.7	21.8	24	36	50	80	83
	350°C	38	38	38	43	49	56	—	—
	400°C	34	34	34	39	44	51	—	—
1	Pt量	0	0.2	0.3	2	14	28	58	61
	添加元素総量	22	22.2	22.3	24	36	50	80	83
	350°C	36	36	36	42	47	54	—	—
	400°C	32	32	33	37	42	49	—	—
5	Pt量	0	0.2	0.3	2	10	24	54	57
	添加元素総量	26	26.2	26.3	28	36	50	80	83
	350°C	34	34	35	39	44	51	—	—
	400°C	31	31	31	35	40	46	—	—
8	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	21	51	54
	添加元素総量	29	29.2	29.3	31	36	50	80	83
	350°C	36	36	36	42	47	54	—	—
	400°C	32	32	33	37	42	49	—	—
19	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	40	43
	添加元素総量	40	40.2	40.3	42	47	50	80	83
	350°C	37	37	38	43	48	56	—	—
	400°C	34	34	34	39	44	50	—	—
22	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	37	40
	添加元素総量	43	43.2	43.3	45	50	53	80	83
	350°C	39	39	39	45	50	58	—	—
	400°C	35	35	35	40	45	52	—	—

【0100】

【表37】

表21(Ta=29、N=19)

Mn量									
Pt量 添加元素総量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62	
	48	48.2	48.3	51	63	77	107	110	
0.5	350°C	5	5	5	6	7	—	—	—
	400°C	5	5	5	5	6	—	—	—
	Pt量 添加元素総量	0 48.5	0.2 48.7	0.3 48.8	2.5 51	14.5 63	28.5 77	58.5 107	61.5 110
1	350°C	5	5	5	6	6	—	—	—
	400°C	4	4	4	5	6	—	—	—
	Pt量 添加元素総量	0 49	0.2 49.2	0.3 49.3	2 51	14 63	28 77	58 107	61 110
5	350°C	5	5	5	6	—	—	—	—
	400°C	4	4	4	5	6	—	—	—
	Pt量 添加元素総量	0 53	0.2 53.2	0.3 53.3	2 55	10 63	24 77	54 107	57 110
8	350°C	5	5	5	5	6	—	—	—
	400°C	4	4	4	5	5	—	—	—
	Pt量 添加元素総量	0 56	0.2 56.2	0.3 56.3	2 58	7 63	21 77	51 107	54 110
19	350°C	5	5	5	5	6	—	—	—
	400°C	4	4	4	5	6	—	—	—
	Pt量 添加元素総量	0 67	0.2 67.2	0.3 67.3	2 69	7 74	10 77	40 107	43 110
22	350°C	5	5	5	6	—	—	—	—
	400°C	4	4	4	5	—	—	—	—
	Pt量 添加元素総量	0 70	0.2 70.2	0.3 70.3	2 72	7 77	10 80	37 107	40 110

【0101】

【表38】

表22(Ta=31、N=21)

Mn量	Pt量	0	0.2	0.3	3	15	29	59	62
	添加元素総量	52	52.2	52.3	55	67	81	111	114
0	350°C	5	5	5	5	6	-	-	-
	400°C	4	4	4	5	5	-	-	-
0.5	Pt量	0	0.2	0.3	2.5	14.5	28.5	58.5	61.5
	添加元素総量	52.5	52.7	52.8	55	67	81	111	114
	350°C	4	4	4	5	6	-	-	-
	400°C	4	4	4	5	5	-	-	-
1	Pt量	0	0.2	0.3	2	14	28	58	61
	添加元素総量	53	53.2	53.3	55	67	81	111	114
	350°C	4	4	4	5	6	-	-	-
	400°C	4	4	4	4	5	-	-	-
5	Pt量	0	0.2	0.3	2	10	24	54	57
	添加元素総量	57	57.2	57.3	59	67	81	111	114
	350°C	4	4	4	5	5	-	-	-
	400°C	4	4	4	4	5	-	-	-
8	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	21	51	54
	添加元素総量	60	60.2	60.3	62	67	81	111	114
	350°C	4	4	4	5	6	-	-	-
	400°C	4	4	4	4	5	-	-	-
19	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	40	43
	添加元素総量	71	71.2	71.3	73	78	81	111	114
	350°C	-	-	-	-	-	-	-	-
	400°C	-	-	-	-	-	-	-	-
22	Pt量	0	0.2	0.3	2	7	10	37	40
	添加元素総量	74	74.2	74.3	76	81	84	111	114
	350°C	-	-	-	-	-	-	-	-
	400°C	-	-	-	-	-	-	-	-

【0102】

(実施の形態4)

成膜法及び加工法は実施例1～3と基本的に同様の方法で素子を作成した。非磁性体としては、Alを成膜後にOのイオンラジカル源で酸化しAlO(1.0～2nm)としたものを用いた。非磁性金属としては、Ir(1.2～1.4nm)を用いた。反強磁性体としては、NiMn(30～40nm)を用いた。素子構造、及び強磁性体としては実施例2の表4～表8に示したのと同様のものを作成し、Pt、Pd、Auを添加しそれぞれの熱処理後の磁気抵抗特性と、固溶状態が安定かを調べた。固溶状態が安定かの判定としては、350°C、400°C、450°C、500°C熱処理後の界面の組成をAESデプスプロファイル、SI

M S、ミリング後のX P S分析等を用いて決定した後、該当組成の合金を350°C、400°C、450°C、500°Cで丸1日真空中熱処理し、断面を、研磨、化学エッティングした後金属顕微鏡による組織観察、もしくは、化学エッティング後、真空中でイオンミリングした後にS E Mによる組織観察と、E D Xによる面内組成分析により、単一の相状態になっているかを評価した。

【0103】

該当の熱処理温度での断面が組成分布を持ち複数の相を有した組成では、その熱処理後のサンプルでは、磁気抵抗特性が無添加のものに比べ3～10割増しであった。一方、単相状態を示したものでは、熱処理後の磁気抵抗特性は8～20割増しであり、単相が安定なサンプルのほうが熱処理後の磁気抵抗特性はより良好な結果を示した。

【0104】

(実施の形態5)

実施例2の表4 d)、5 a)、5 b)、5 c)、5 d)のサンプルにおいて、300°C以上の熱処理でみられた、Mnの拡散効果を反強磁性体－強磁性体界面と強磁性体－非磁性体界面の距離と、熱処理温度を変えることにより制御し、熱処理後に界面でのMnを20～0.5 at %の範囲で所望の組成にすることを試みたところ、3 nm以下では、Pt等の元素を添加しても300°C以上の熱処理で磁性元素の比率が4割以下になってしまい、結果として磁気抵抗特性も著しく劣化した。一方、50 nm以上にすると、Mnを0.5 at %拡散させるのに400°C以上の温度を有するのと同時に、反強磁性体による強磁性体の磁化方向の固定効果が充分得られず、熱処理後の磁気抵抗特性は著しく劣化した。

【0105】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、磁性体、300°C以上の熱処理後に、非磁性体の界面荒さを≤20 nmにすることにより高い磁気抵抗特性を得ることが出来る。

【0106】

また、磁性体の非磁性体との界面の組成を限定することにより、高い磁気抵抗

特性と、良好な磁気特性を持つ磁気抵抗素子を得ることが出来る。

【0107】

また、磁性体の非磁性界面での組成を熱処理温度において单一の相状態を有する合金にすることにより安定性に優れた磁気抵抗素子を得ることが出来る。

【0108】

また、反強磁性体を有する磁気抵抗素子において、強磁性体・非磁性体界面と反強磁性体との距離を3nm以上50nm以下にすることにより耐熱性に優れた磁気抵抗素子が作成できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

評価用磁気抵抗素子の模式図

【図2】

本発明におけるR1、曲率半径の定義の説明図

【図3】

磁気抵抗素子構成例を示す図

【図4】

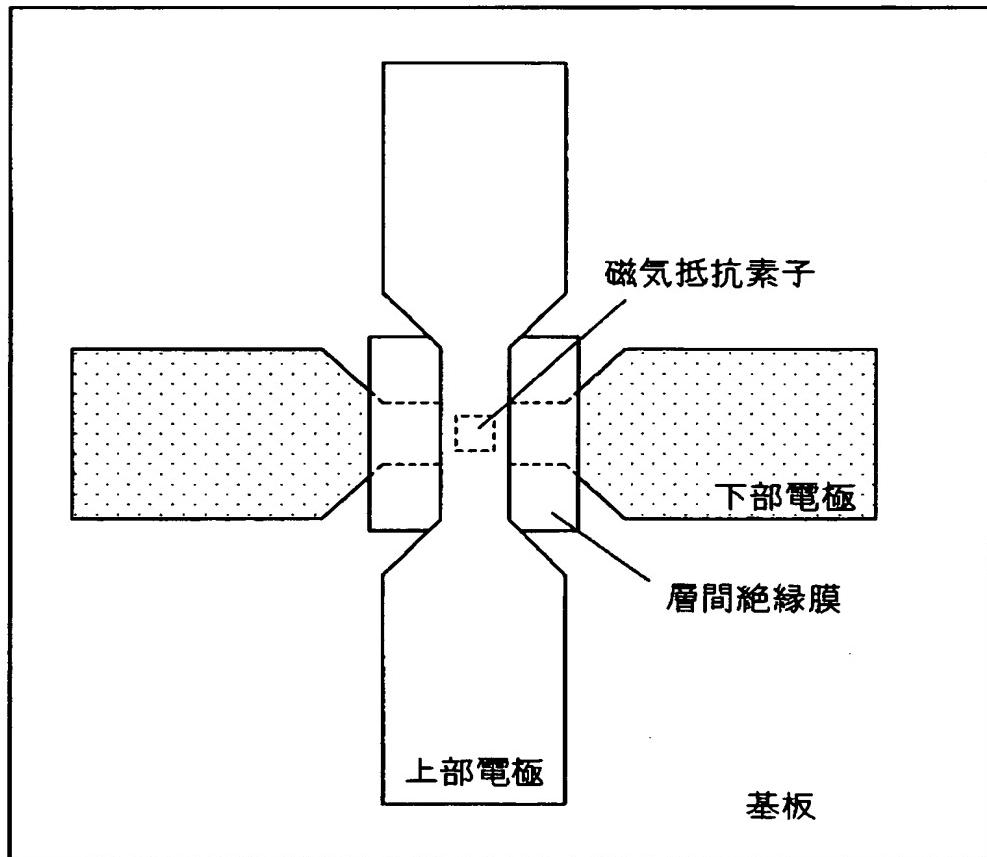
実施例2、3における磁気抵抗素子の模式図

【書類名】 図面

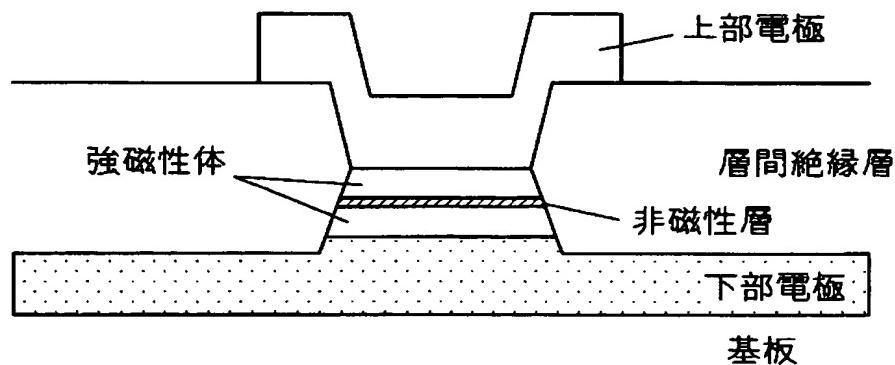
【図 1】

評価用磁気抵抗素子の模式図

(a)



(b) 断面図

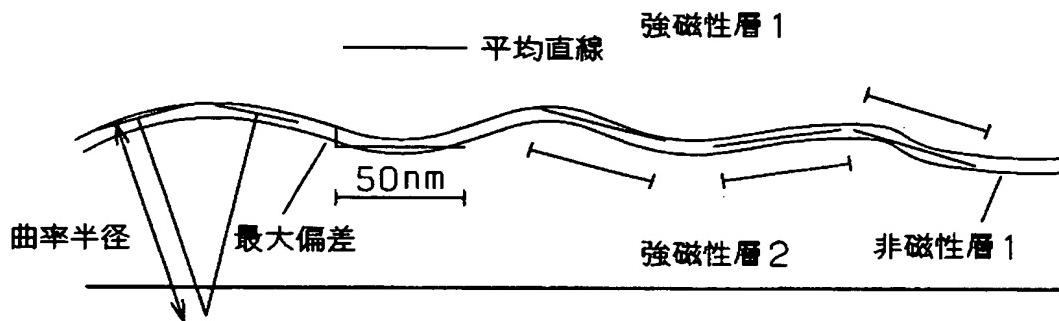


【図2】

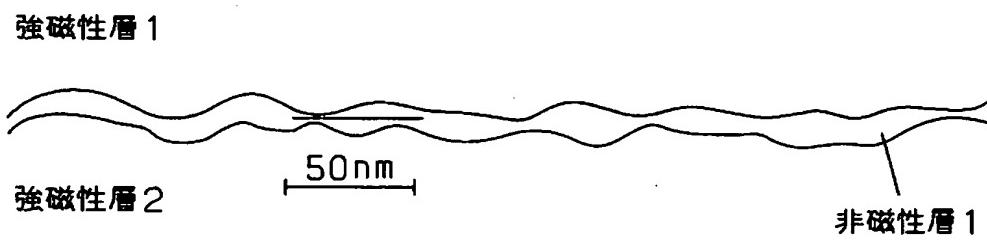
本発明におけるR1、曲率半径の定義の説明図

(a)

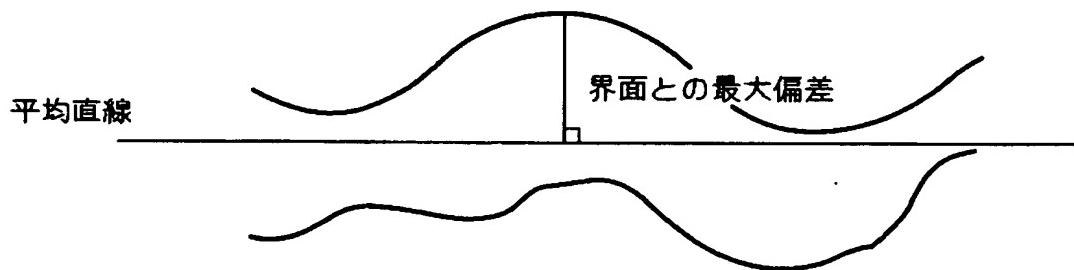
平均直線から界面への偏差のうち、最大値をその範囲の荒さとした。



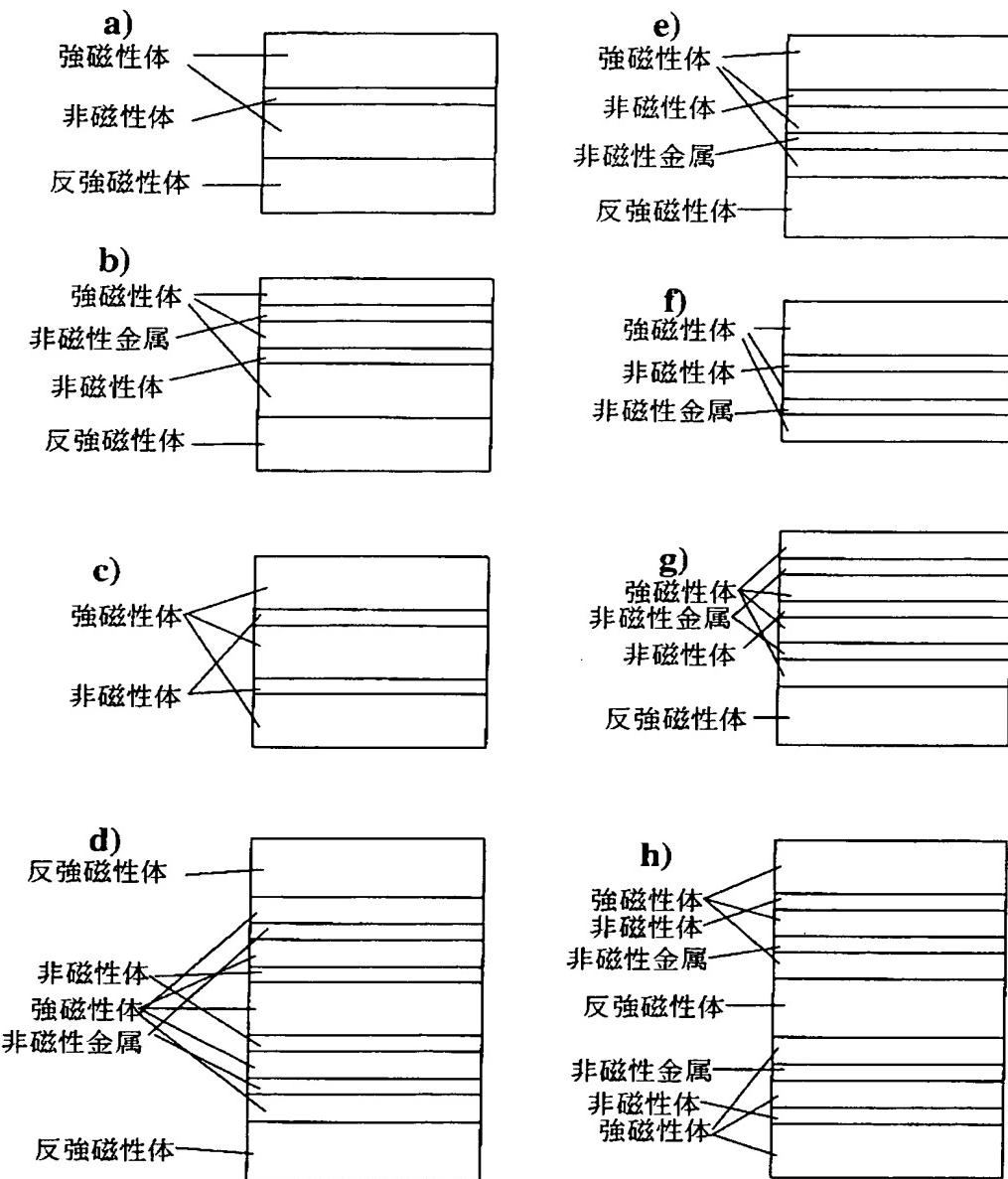
(b)



(c) 界面付近の拡大

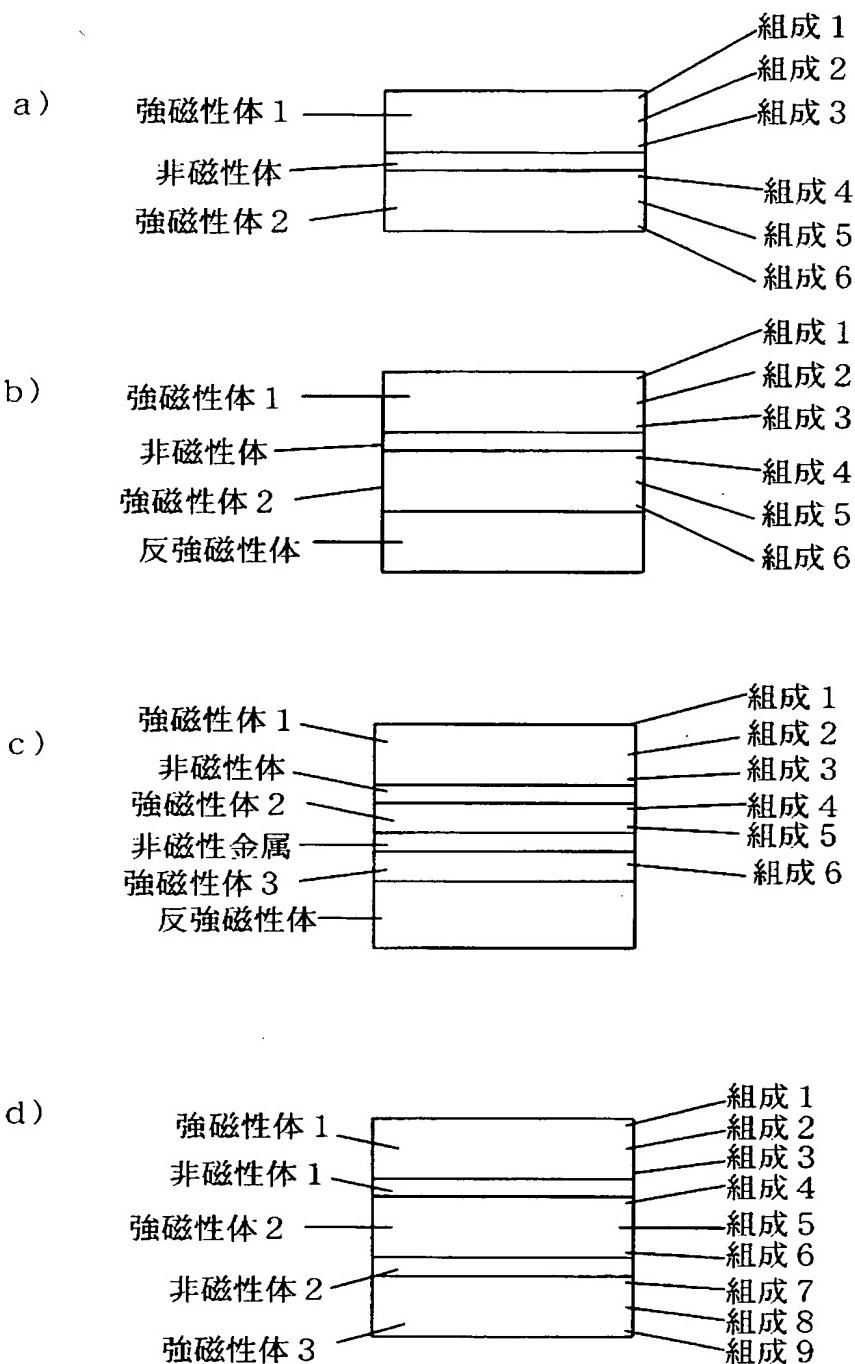


【図 3】



磁気抵抗素子構成例

【図4】



実施例2、3における磁気抵抗素子の模式図

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 磁気抵抗素子において、300℃以上の熱処理後に良好な磁気抵抗特性を得ることを目的とする。

【解決手段】 この目的を達成するために、本発明の磁気抵抗素子は、300℃以上の熱処理後に、磁性体・非磁性体界面荒さを20nm如何にした構成を有する。また、磁性体・非磁性体界面の組成を $(Fe_xCo_yNi_z)_{aXb}$ なる強磁性材料で構成することにより熱処理後に良好な磁気抵抗特性を有する磁気抵抗素子を得ることが出来る（ただし、XはTc、Re、Ru、Os、Rh、Ir、Pd、Pt、Cu、Ag、Auから選ばれる少なくとも一つの元素であり、x、y、z、a、bは原子組成比で、以下の式を満たす。 $x + y + z = 100$ 、 $a + b = 100$ 、 $40 \leq a \leq 99.7$ 、 $0.3 \leq b \leq 60$ 。）。

【選択図】 図1

特願2001-192217

出願人履歴情報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日 1990年 8月28日

[変更理由] 新規登録

住所 大阪府門真市大字門真1006番地
氏名 松下電器産業株式会社